Iranian Journal of Pulses Research
Homepage: https://ijpr.um.ac.ir
Vol. 12, No. 2, December 2021, p. 199-213
Original Researc; DOI: 10.22067/ijpr.v12i2.89194

پژوهش‌های حبوبات ایران
سال(دوره) ۱۲ شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوّم ۱۴۰۰
صفحهٔ ۲۱۳-۱۹۹، نوع مقاله: پژوهشی

استفاده از عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) در بهبود اثرات منفی ناشی از تنش کم‌آبی در گیاه نخود با تأکید بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک

راهله احمدپور[1*]، اعظم سلیمی[2]، هانیه زیدی[3] و نظام آرمند[4]

۱- عضو هیئت علمی گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان
۲- دانشیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه دانشگاه خوارزمی تهران؛ salimi@yahoo.com
۳- دانشجوی کارشناسی‌ارشد رشته زیست‌شناسی، گرایش فیزیولوژی گیاهی، گروه زیست‌شناسی دانشکده علوم پایه، دانشگاه خوارزمی تهران، zeydi_tmu@yahoo.com
۴- استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان؛ armand@bkatu.ac.ir

تاریخ‌ها:
دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۵، بازنگری: ۱۳۹۹/۰۸/۱۹، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۶؛ انتشار آنلاین مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۰۱

نحوه ارجاع به مقاله:
احمدپور، ر.، سلیمی، ا.، زیدی، ه.، و آرمند، ن. ۱۴۰۰. استفاده از عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) در بهبود اثرات منفی ناشی از تنش کم‌آبی در گیاه نخود با تأکید بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک. پژوهش‌های حبوبات ایران ۱۲(۲): ۲۱۳-۱۹۹.

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر عصاره جلبک دریایی آسکوفیلوم بر شاخص‌های مورفو-فیزیولوژیک گیاه نخود (رقم عادل) تحت تنش کمبود آب به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان در سال ۱۳۹۵ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی (صفر، ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ درصد حجمی) و سه سطح تنش کم‌آبی شامل بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید (به ترتیب آبیاری در سطح ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) بود. نتایج نشان داد که در شرایط بدون تنش سطوح ۲/۵ و ۳/۵درصد حجمی عصاره به صورت معنی‌داری شاخه جانبی، تعداد غلاف در بوته، وزن خشک اندام هوایی، طول ریشه، محتوای آب نسبی، محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل را در مقایسه با شاهد افزایش داد. در شرایط تنش ملایم، کاربرد سطح ۲/۵ درصد عصاره جلبکی موجب افزایش معنی‌دار تعداد شاخه جانبی (۳۳٪+)، تعداد غلاف (۲۲٪+)، وزن خشک اندام هوایی (۱۹٪+)، طول ریشه (۱۲٪+)، محتوای آب نسبی (۷٪+)، محتوای کلروفیل a (۱۲٪+)، b (۱۰/۵٪+) و کلروفیل کل (۱۱٪+) در مقایسه با شاهد شد. در شرایط تنش شدید، محلول‌پاشی ۲/۵ درصد حجمی توانست تعداد شاخه جانبی (۳۰٪+)، تعداد غلاف در بوته (۲۷٪+)، محتوای آب نسبی (۶٪+) و محتوای کلروفیل b (۱۰٪+) را در مقایسه با سطح شاهد بهبود دهد. با توجه به نتایج این مطالعه، استفاده از عصاره جلبک آسکوفیلوم نودوسوم در تمامی سطوح مورد بررسی در شرایط بدون تنش برای گیاه نخود پیشنهاد می‌گردد، اما در شرایط تنش ملایم و شدید سطح ۲/۵ درصد حجمی برای بهبود خصوصیات مورفو-فیزیولوژیک توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تنش کم‌آبی؛ فتوسنتز خالص؛ محتوای آب نسبی؛ محتوای کلروفیل

مقدمه

نخود (*Cicer arientinum* L.) یکی از مهم‌ترین حبوبات در جهان به شمار می‌آید و اهمیت آن به دلیل داشتن پروتئین بالا (حدود ۲۳/۵ تا ۲۸/۹ درصد) در دانه می‌باشد (Ganjeali *et al*., 2011). در ایران این گیاه عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک تولید می‌شود و معمولاً در طی مرحله گلدهی و رسیدگی با افزایش تنش کمبود آب مواجه می‌شود (Rahbarian *et al*., 2011). در چنین مناطقی کمبود رطوبت در خاک مهم‌ترین عامل موثر در جهت کاهش خصوصیات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و در نهایت عملکرد و

* نویسنده مسئول: ahmadpour@bkatu.ac.ir

اجزای عملکرد در حبوبات است (Rahbarian *et al*., 2011; Rasti Sani *et al*., 2014; Amiri *et al*., 2017). تنش کمبود آب موجب پیری زودرس، ریزش برگ‌ها، تغییر زاویه برگ‌ها و لوله‌ای‌شدن برگ، کاهش ارتفاع بوته و تعداد غلاف در بوته می‌شود. علاوه بر آن تنش رطوبتی بر خصوصیات فیزیولوژیک مانند محتوای کلروفیل، فتوسنتز خالص، محتوای آب نسبی و پایداری غشاء سلول تأثیر منفی داشته و به طور معنی‌داری این خصوصیات را کاهش می‌دهد (Hosseinzadeh *et al*., 2016). در این زمینه محققان گزارش کردند که کمبود آب از مهم‌ترین عوامل کاهش خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و عملکردی در حبوبات نظیر نخود، عدس و لوبیا محسوب می شود (Ganjeali *et al*., 2011; Ahmadpour *et al*., 2016; Armand *et al*., 2015). بنابراین، اتخاذ راهکارهایی که بتواند اثرات منفی ناشی از تنش را در گیاه نخود کاهش دهد و منجر به افزایش محصول شود، بسیار اهمیت دارد.

کاربرد کودهای بیولوژیک نظیر عصاره جلبک دریایی ضمن افزایش رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی و باغی، به ارتقای کیفیت آن‌ها نیز کمک می‌کند (Halmer, 2000). در این روش، از عوامل زنده و بیولوژیک نظیر عصاره‌های مختلف جلبکی به عنوان تیمار استفاده شده و بیشتر مطالعات در این زمینه گزارش کردند که محلول‌پاشی عصاره جلبک‌های دریایی موجب افزایش صفات مورفولوژیک و عملکردی، افزایش کیفیت محصولات کشاورزی، بهبود جوانه‌زنی بذر و افزایش ماندگاری محصولات بعد از برداشت می‌شود (Halmer, 2000; Zhang & Ervin, 2004; El-Gawad & Osman, 2014). جلبک *Ascophyllum nodosum* در بخش ساقه دارای ساختارهای تخم‌مرغی‌شکل (ویزیکول) متعددی است که این بخش‌ها غنی از هورمون‌های گیاهی نظیر اکسین و سیتوکینین، اسیدهای آلی، کربوهیدرات‌ها و عناصر معدنی هستند (Jannin *et al*., 2013). عصاره جلبک آسکوفیلوم با داشتن هورمون‌های رشد نظیر اکسین، سیتوکینین، عناصر غذایی مغذی و پرکاربرد نظیر نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، عناصر غذایی کم‌کاربرد نظیر آهن، روی، مس، منگنز و ترکیبات ارزشمند دیگر نظیر نمک های معدنی، ویتامین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها تأثیر مثبت و معنی-داری بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و عملکردی گیاهان دارد (Zhang & Ervin, 2008; Kumar & Sahoo, 2011; Ahmadpour *et al*., 2019). مطالعات در زمینه استفاده از عصاره جلبکی نشان می‌دهد که کاربرد این عصاره موجب افزایش معنی‌دار شاخص‌های جوانه‌زنی، رشدی و عملکردی گیاه گندم شد (Kumar & Sahoo, 2011). در مطالعه دیگر گزارش شده است که تلقیح جلبک‌ها در محیط‌های غذایی کشت گیاهان منجر به افزایش معنی‌دار خصوصیات رشدی گیاه می‌شود (Caffagni, 2015). در بررسی فرآیندهای ریشه‌زایی و رشد ریشه در برخی گیاهان زراعی نظیر نخود و لوبیا مشاهده شد که استفاده از عصاره جلبک دریایی موجب تأخیر در فرایندهای پیری و افزایش معنی‌دار ریشه‌زایی و رشد ریشه شد (Craigie, 2011; Ahmadpour *et al*., 2019).

امروزه، مصرف مواد شیمیایی در اراضی کشاورزی، مشکلات زیست‌محیطی متعددی از جمله آلودگی منابع آب، اُفت کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش میزان حاصلخیزی خاک‌ها را به‌وجود آورده است. برخلاف کودهای شیمیایی، عصاره حاصل از جلبک دریایی از تخریب محیط زیست جلوگیری نموده و علاوه بر غیرسمی‌بودن، آلودگی ویژه‌ای برای انسان، حیوان و پرندگان ندارد. در کشاورزی ارگانیک که هدف آن تولید محصولات عاری از مواد شیمیایی است، کاربرد عصاره جلبکی یکی از بهترین تیمارها محسوب می‌شود.

با توجه به این‌که تنش رطوبتی نقش اصلی در کاهش خصوصیات مورفوفیزیولوژیک نخود دارد، هدف اصلی این پژوهش، بررسی اثرات ساده و متقابل محلول‌پاشی برگی عصاره جلبک دریایی آسکوفیلوم در شرایط تنش کمبود آب است که مشخص شود آیا عصاره جلبک آسکوفیلوم نودوسوم می‌تواند در بهبود خصوصیات مورفوفیزیولوژیک در شرایط تنش نقش داشته باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط کنترل‌شده (اتاقک رشد) انجام شد. عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) به عنوان اولین عامل مورد بررسی در نظر گرفته شد که شامل چهار سطح صفر، ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ درصد حجمی بود. عصاره جلبک دریایی (BIOALGAX) از شرکت همیار دشت آبرون تهیه شد. خصوصیات عصاره جلبک دریایی مورد استفاده در جدول ۱ نوشته شده است. با توجه به این‌که عصاره جلبک دریایی به صورت مایع بود، اعمال تیمارها به صورت محلول‌پاشی و با فاصله ۱۰ روز و در طی فصل رویشی گیاه انجام شد. اولین محلول‌پاشی در مرحله گیاهچه‌ای (سه هفته

پس از کاشت) و محلول‌پاشی‌های دیگر به ترتیب در اوایل گلدهی و اوایل غلافدهی انجام شد.

دومین عامل مورد بررسی سطوح تنش کم‌آبی بود که عبارت بودند از ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت گلدان که به ترتیب به عنوان تنش شدید، ملایم و بدون تنش در نظر گرفته شدند. با توجه به این‌که درصد رطوبت وزنی خاک در اغلب مناطقی که نخود به صورت دیم کشت می شود، معادل است با ظرفیت گلدانی در حدود ۲۵ درصد (Rahbarian *et al*., 2011; Hosseinzadeh *et al*., 2011)، بنابراین این سطح تنش به عنوان تنش شدید و سطح ۵۰ درصد ظرفیت گلدانی به عنوان تنش ملایم انتخاب شد.

جدول ۱- برخی خصوصیات عصاره جلبک دریایی آسکوفیلوم نودوسوم (برگرفته از شرکت همیار دشت آبرون)

Table 1. Some properties of seaweed extract *Ascophyllum nodosu*

ماده آلی Organic matter (درصد) (%)	چگالی نسبی Relative density (گرم/سانتی‌متر مکعب) (g/cm^3)	نیتروژن کل Total N (درصد) (%)	آهن Fe (درصد) (%)	پتاسیم K (درصد) (%)	کلسیم Ca (درصد) (%)	فسفر P (درصد) (%)	فولویک اسید FA (درصد) (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (دسی زیمنس بر متر) ($dS.m^{-1}$)	نمونه Sampele
15	1.28	2.5	0.5	16.9	0.18	1	10.5	9.2	1.3	عصاره جلبکی Seaweed extract

هر گلدان با گنجایش ۲/۵ کیلوگرم خاک به‌عنوان واحد آزمایشی در نظر گرفته شد و بذرهای نخود به مدت ۲۴ ساعت در آب خیسانده شده تا جوانه‌زنی ابتدایی صورت گیرد و سپس در چهار قسمت از گلدان کشت شدند که پس از سبزشدن به سه عدد گیاهچه در هر گلدان کاهش یافت. بذر مورد استفاده رقم عادل بود و از ایستگاه تحقیقات کشاورزی گچساران تهیه شد. گلدان‌ها در اتاقک رشد در شرایط کنترل‌شده با درجه‌حرارت روز و شب به‌ترتیب ۲۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۲/۵ساعت روشنایی و ۱۱/۵ساعت تاریکی قرار گرفتند (شدت تشعشع: ۱۰۰۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه). برای اعمال تنش آبی، خاک خشک موجود در یک واحد آزمایشی تعیین شد و سپس به خاک خشک موجود در گلدان، به‌آرامی و تا حد اشباع، آب اضافه شد و پس از خارج شدن کامل آب ثقلی، گلدان توزین شد و پس از کسر وزن گلدان و خاک خشک مقدار آب نگهداری‌شده در ظرفیت گلدانی تعیین شد و تیمارهای مختلف بر این اساس محاسبه شدند (Abrishamchi *et al*., 2012; Alizadeh *et al*., 2020). آبیاری تا مرحله هفت‌برگی‌شدن گیاهچه‌های نخود به صورت هر سه روز یک‌بار انجام شد و پس از آن، گلدان‌ها مطابق تیمارهای آزمایشی (سطوح تنش کم‌آبی) آبیاری شدند. در پایان دوره رشد (حدود ۵۰ روز پس از کاشت) نمونه‌برداری به‌صورت تخریبی انجام شد و بخش هوایی از ریشه گیاه تفکیک شد. صفات مورفولوژیک شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف در بوته و طول ریشه تعیین شدند. به‌منظور تعیین وزن خشک اندام هوایی، برگ و ریشه، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۲ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و سپس وزن آن‌ها با ترازوی AND مدل GT-300 ساخت کشور آلمان با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد.

برای سنجش میزان کلروفیل و کاروتنوئید از روش (Lichtenthaller & Wellburn, 1983) استفاده شد. ابتدا ۰/۱ گرم برگ با چهار میلی‌لیتر استن ۸۰٪ در هاون چوبی سائیده شد و سپس محلول حاصل به مدت پنج دقیقه در ۳۰۰۰ دور سانتریفیوژ شده و سپس جذب محلول رویی جهت تعیین میزان کلروفیل و کارتنوئید توسط اسپکتروفتومتر مدل ۲۱۰۰ در طول موج‌های ۶۴۷، ۶۶۴ و ۴۷۰ نانومتر قرائت گردید. به منظور صفرکردن دستگاه از استن ۸۰٪ استفاده شد. میزان کلروفیل a، b، کارتنوئید و کلروفیل کل، از طریق معادله های ۱ تا ۴ محاسبه گردید:

معادله (۱)

$$Chl_a = 12/21(A_{664}) - 2/79(A_{647})$$

معادله (۲)

$$Chl_b = 21/21(A_{647}) - 5/1(A_{664})$$

معادله (۳)

$$Carotenoid= (1000\ A_{470}-1/8Chl_a-85/02Chl_b)/198$$

معادله (۴)

$$Chl_T= Chl_b+Chl_a$$

به منظور اندازه‌گیری میزان فتوسنتز خالص، از دستگاه اندازه‌گیری تبادلات گازی در برگ مدل KR8700 ساخت شرکت Korea Tech استفاده شد. با توجه به این‌که تبادلات گازی و سنجش فتوسنتز در شرایط زنده صورت می‌گیرد، اندازه‌گیری صفت مورد نظر یک روز قبل از برداشت گیاه انجام شد. برای اندازه‌گیری از برگ‌های سالم و توسعه‌یافته (برگ‌های دوم و سوم گیاه) استفاده شد. برای اندازه‌گیری محتوای آب نسبی برگ از روش Bian & Jiang (2008) استفاده شد، به طوری‌که مقدار مشخصی از برگ برداشت شد و برای ۴۸ساعت در آب غوطه‌ور شد. سپس برگ‌ها از آب خارج و سطح آن‌ها به آرامی با دستمال کاغذی خشک شد و توزین گردید. در انتها برگ‌ها در آون به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و سپس مجدداً وزن شدند. با سنجش شاخص‌های وزنی فوق از طریق معادله (۵) این صفت برای هر تیمار تعیین شد.

معادله (۵)

$$RWC= (FW-DW/TW-DW)\times100$$

در این معادله، RWC محتوای نسبی آب، FW وزن تر برگ، DW وزن خشک برگ و TW وزن برگ در حالت تورژسانس کامل است. مقدار ۰/۲ گرم برگ از هر تیمار به منظور سنجش پایداری غشاء سلول‌های برگی برداشت شد و داخل دو گروه لوله آزمایش، حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر گذاشته شدند. یک بخش از لوله‌های آزمایش به مدت ۳۰دقیقه در بن‌ماری ۴۰ درجه سانتی‌گراد و بخش دیگر به مدت ۱۰دقیقه در بن‌ماری ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از کاهش دمای لوله‌ها تا حد دمای محیط، هدایت الکتریکی نمونه‌ها به وسیله دستگاه سنجش هدایت الکتریکی (Model RS232, AZ Instrument Corp, Taiwan) اندازه‌گیری و سپس این شاخص با استفاده از معادله زیر مطابق روش Sairam & Saxena (2001) محاسبه شد:

(هدایت الکتریکی آب در دمای ۱۰۰°C/ هدایت الکتریکی آب در دمای ۴۰°C)–۱ =پایداری غشا

تجزیه و تحلیل داده‌ها: تجزیه‌های آماری به‌وسیله نرم‌افزار MASTAT-C انجام شد. به‌منظور تعیین سطح معنی‌داری از تجزیه واریانس (ANOVA) استفاده شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن ($p\leq0.05$) مقایسه شدند.

نتایج و بحث

خصوصیات مورفولوژیک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده کاربرد عصاره جلبک دریایی و تنش کم‌آبی بر ارتفاع بوته و تعداد برگ معنی‌دار بود، اما اثرات متقابل بر این صفات معنی دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها در اثرات ساده عصاره جلبکی نشان داد که کاربرد این عصاره در کلیه سطوح در مقایسه با شاهد موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته شد (جدول ۳). در مقایسه سطوح تنش کم‌آبی مشاهده شد که با افزایش شدت تنش از ۷۵ به ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی، ارتفاع بوته به صورت معنی‌داری کاهش دارد (جدول ۴). نتایج اثرات ساده بر تعداد برگ نشان داد که سطوح ۲/۵ و ۳/۵ درصد حجمی موجب افزایش معنی‌دار این صفت در مقایسه با سطوح شاهد و ۱/۵ درصد حجمی شد (جدول ۳). در بین سطوح تنش کم‌آبی بیشترین و کمترین تعداد برگ به ترتیب به سطح بدون تنش و تنش کم‌آبی شدید اختصاص داشت (جدول ۴). آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل عصاره جلبکی و تنش کم‌آبی بر تعداد شاخه جانبی و تعداد غلاف گیاه نخود معنی‌دار است (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط بدون تنش، کلیه سطوح محلول‌پاشی عصاره جلبکی موجب افزایش معنی‌دار تعداد شاخه جانبی در مقایسه با شاهد شد. در شرایط تنش ملایم و شدید، سطح ۲/۵ درصد حجمی از عصاره جلبک دریایی به صورت معنی‌داری تعداد شاخه جانبی را نسبت به سطوح شاهد افزایش داد (جدول ۵). در مقایسه میانگین‌های مرتبط با تعداد غلاف مشاهده شد که در شرایط بدون تنش، سطوح ۲/۵ و ۳/۵ درصد از عصاره جلبکی به صورت معنی‌داری تعداد غلاف را در مقایسه با شاهد افزایش داد. بین سطوح ۲/۵ و ۳/۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در شرایط تنش ملایم و شدید، سطح محلول‌پاشی ۲/۵درصد عصاره جلبکی موجب افزایش معنی‌دار این صفت در مقایسه سطوح شاهد شد (جدول ۵). آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل عصاره و تنش، تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی و طول ریشه داشت (جدول ۲). نتایج نشان داد که در شرایط بدون تنش و تنش کم‌آبی ملایم، تمامی سطوح محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی (۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ درصد حجمی) در مقایسه با سطوح شاهد موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی شد. در شرایط تنش شدید، اختلاف معنی‌داری بین سطوح محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و سطح شاهد برای

این صفت مشاهده نشد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین‌های مرتبط با طول ریشه نشان داد که در شرایط بدون تنش و تنش ملایم، کلیه سطوح محلول‌پاشی عصاره نسبت به سطوح شاهد، طول ریشه را به صورت معنی‌داری افزایش دادند. در شرایط تنش کم‌آبی شدید، تفاوت معنی‌داری بین سطوح محلول‌پاشی و تیمار شاهد وجود نداشت (جدول ۵). تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که محلول‌پاشی عصاره جلبکی و تنش کم‌آبی هر کدام به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه داشتند (جدول ۲). نتایج نشان داد که کلیه سطوح محلول‌پاشی عصاره تأثیر مثبت و معنی‌داری بر وزن خشک ریشه دارد، به طوری که موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها در اثرات ساده تنش نشان داد که بیشترین و کمترین طول ریشه به ترتیب به تیمار بدون تنش و تیمار تنش شدید اختصاص داشت که نسبت به هم اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۴).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های مورفولوژیک گیاه نخود تحت تاثیر محلول پاشی عصاره جلبکی و تنش کم آبی

Table 2. Analysis of variance of morphological parameters of chickpea under foliar application of seaweed extract and water deficit stress

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد برگ در گیاه Leaf number	تعداد شاخه جانبی Number of branches	تعداد غلاف در بوته Pod number	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	طول ریشه Root length	وزن خشک ریشه Root dry weight
عصاره جلبک دریایی Seaweed extract (S)	3	80.149**	102.546**	2.694**	3.657**	0.368 **	21.534**	0.503**
تنش کم آبی Water deficit stress (W)	2	333.00**	331.194**	16.861**	25.083**	1.347 **	224.002**	5.044**
عصاره×تنش (S)× (W)	6	2.627 ns	5.046ns	0.194*	0.380*	0.066 **	1.648*	0.023ns
خطای آزمایش Error	24	2.579	2.139	0.250	0.472	0.007	1.801	0.012
ضریب تغییرات(درصد) CV(%)	-	2.87	2.33	16.82	12.31	4.47	3.72	3.20

ns، * و **: به ترتیب عدم معنی داری و معنی داری در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

ns, * and **: not-Significant, Significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین پارامترهای مورفولوژیک گیاه نخود تحت تأثیر عصاره جلبک دریایی

Table 3. Mean comparison of morphological parameters of chickpea affected by seaweed extract

عصاره جلبک دریایی (درصد حجمی) **Seaweed extract (Volumetric percentage)**	ارتفاع بوته (سانتی متر) **Plant height (cm)**	تعداد برگ در گیاه **Leaf number**	وزن خشک ریشه (گرم) **Root dry weight (g)**
Control/شاهد	51.49 b	58.89 c	3.047 b
1.5%	56.47 a	61.22 b	3.468 a
2.5%	57.59 a	66.33 a	3.592 a
3.5%	57.92 a	64.78 a	3.443 a

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، تفاوت معنی‌داری باهم ندارند (دانکن ۵ درصد).

The means with simillar letter in each column are not significantly different (Duncan 5%).

جدول ۴- مقایسه میانگین های پارامترهای مورفولوژیک گیاه نخود تحت تأثیر تنش کم آبی

Table 4. Mean comparison of morphological parameters of chickpea under water deficit stress

تنش کم‌آبی **Water deficit stress**	ارتفاع بوته (سانتی متر) **Plant height (cm)**	تعداد برگ در گیاه **Leaf number**	وزن خشک ریشه (گرم) **Root dry weight (g)**
بدون تنش (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) Non-stress	61.37 a	68.17 a	1.563 a
تنش ملایم (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) Moderate stress	55.37 b	62.58 b	1.188 a
تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) Severe stress	50.87 c	57.67 c	0.625 b

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری باهم ندارند (دانکن ۵ درصد).

The means with simillar letter in each column are not significantly different (Duncan 5%).

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک نخود تحت تأثیر برهمکنش عصاره جلبکی و تنش آبی

Table 5. Comparison of morphological traits of chickpea affected by seaweed extract × water deficit stress interaction

تیمارها/ عصاره جلبک (درصد حجمی) **Treatments/ Seaweed extract (Volumetric percentage)**	تعداد شاخه جانبی **Number of branches**	تعداد غلاف در بوته **Pod number**	وزن خشک اندام هوایی (گرم) **Shoot dry weight (g)**	طول ریشه (سانتی متر) **Root length (cm)**
بدون تنش آبی (۷۵ درصد ظرفیت زراعی)/ Non water deficit stress (75% field capacity)				
شاهدControl/	3.33 c	6 cd	1.633 cd	32.27 c
1.5%	4.33 b	7 bc	2.290 a	40.50 ab
2.5%	5.33 a	8.33 a	2.460 a	41.80 a
3.5%	4.33 b	7.33 ab	2.270 a	40.53 ab
تنش آبی ملایم (۵۰ درصد ظرفیت زراعی)/ Moderate water deficit stress (50% field capacity)				
شاهدControl/	2 ef	4.66 ef	1.500 de	34.03 d
1.5%	2.33 def	5.33 de	1.830 bc	37.63 c
2.5%	3 cd	6 cd	1.860 b	38.63 bc
3.5%	2.33 def	5 de	1.827 bc	37.03 c
تنش آبی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی)/ Severe water deficit stress (25% field capacity)				
شاهدControl/	1.66 f	3.66 f	1.390 e	30.50 e
1.5%	2 ef	4.33 ef	1.507 de	32 de
2.5%	2.66 cde	5 de	1.557 de	32.20 de
3.5%	2.33 def	4.66 ef	1.543 de	31.20 e

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری باهم ندارند (دانکن ۵ درصد).

The means with simillar letter in each column are not significantly different (Duncan 5%).

تنش کم‌آبی تأثیر مهمی بر کاهش رشد اندام هوایی نظیر ارتفاع گیاه، تعداد برگ، تعداد غلاف در بوته، تعداد شاخه جانبی و وزن خشک اندام هوایی دارد که دلایل اصلی آن کاهش ترشح هورمون‌های رشد، افزایش مواد بازدارنده رشد، کاهش تقسیم سلولی، بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز، کوتاه‌شدن دورهٔ رشد گیاه و مکانیسم‌های گریز از تنش گزارش شده است (Bayoumi *et al*., 2008; Hosseinzadeh *et al*., 2016). کمبود آب در محیط کشت علاوه بر کاهش معنی‌دار خصوصیات اندام هوایی، تأثیر مستقیم بر ویژگی‌های ریشه گیاهان دارد، به طوری که در مطالعات متعددی گزارش شده است که اولین سیستم درک‌کننده کمبود آب در خاک، ریشه‌های گیاهان هستند که نقش مهمی در ایجاد مقاومت نسبت به تنش خشکی دارند. افزایش شدت تنش کم‌آبی در خاک موجب محدودیت رشد ریشه و گسترش آن به لایه‌های بالایی خاک می‌شود، در نتیجه پیری زودرس ریشه را به‌دنبال دارد (Ahmadpour *et al*., 2016; Amiri *et al*., 2017). از طرف دیگر در این شرایط علاوه بر تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی و کاهش تعداد برگ، ورود دی‌اکسید کربن نیز به داخل سلول‌های برگی کاهش معنی‌داری داشته و در نهایت با کاهش فتوسنتز خالص منجر به کاهش شدید در وزن خشک ریشه و اندام هوایی می‌گردد (Siva *et al*., 2007; Saeidi & Abdoli, 2015) . کاهش خصوصیات مورفولوژیک در شرایط کمبود آب قابل دسترس در سایر حبوبات از جمله لوبیا (Armand *et al*., 2015)، نخودفرنگی (Games *et al*., 2005)، نخود (Hosseinzadeh *et al*., 2011) و عدس (Panahyan-e-Kivi *et al*., 2009) نیز گزارش شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که تنش کم‌آبی ملایم و شدید در مقایسه با شرایط بدون تنش به صورت معنی‌داری کلیه صفات مورفولوژیک مورد بررسی را کاهش داد.

در جلبک آسکوفیلوم بخش‌هایی غنی از هورمون‌های گیاهی مانند سیتوکینین و اکسین وجود دارد که در فرایند خالص‌سازی عصاره، بدون هیچ‌گونه تغییر همراه با شیره سلولی استخراج می‌شوند (Jannin *et al*., 2013). سیتوکینین‌ها ارتباط مستقیم با افزایش تقسیم سلولی و فعال‌سازی آنزیم پکتیناز (این آنزیم با تجزیه پکتین‌های موجود در دیواره سلول های برگی و ساقه منجر به سست‌شدن دیواره‌ها شده و شرایط لازم را برای توسعه و رشد مهیا می‌کند) دارند که می‌تواند در افزایش ارتفاع بوته، تعداد غلاف، تعداد برگ و وزن خشک اندام هوایی نقش داشته باشند (Craigie, 2011; Ghannad *et al*., 2017). از دیگر ویژگی‌های مهم عصاره‌های جلبکی توانایی بالای آن‌ها در حفظ آب و نگهداری آن است. این ویژگی به واسطهٔ داشتن درصد بالایی از ترکیبات پلیمری نظیر آلجیناز است که قادرند مولکول‌های آب را جذب نموده و به حالت ژله ای درآیند (Ramarajan *et al*., 2012; Ghannad *et al*., 2017). عصاره جلبک دریایی در صورت محلول‌پاشی برگی می‌تواند از طریق آوند آبکش به اندام‌های پایین‌تر منتقل شده و در سلول‌های ریشه منجر به کاهش پتانسیل اسمزی شود و در این حالت با کاهش پتانسیل آب سلول‌های ریشه موجب حفظ آب درون سلول و کمک به جذب بیشتر آب از خاک نماید (Ramarajan *et al*., 2012). بنابراین افزایش طول و وزن خشک ریشه به‌واسطه دسترسی به آب و عناصر غذایی در اثر محلول‌پاشی برگی عصاره جلبک دریایی آسکوفیلوم نودوسوم، منطقی است.

خصوصیات فیزیولوژیک

آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که محلول‌پاشی عصاره جلبکی و تنش کم‌آبی هر کدام به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر میزان فتوسنتز خالص و پایداری غشاء سلول داشتند. اثرات متقابل تیمارها بر این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۶). در بین اثرات ساده محلول‌پاشی عصاره جلبکی، سطح ۲/۵ درصد حجمی موجب افزایش معنی‌دار فتوسنتز خالص در مقایسه با کلیه سطوح مورد بررسی شد. کاربرد عصاره جلبکی در سطوح ۱/۵ و ۳/۵ درصد حجمی نیز در مقایسه با تیمار شاهد افزایش معنی‌داری داشت (جدول ۷). نتایج اثرات ساده تنش کم‌آبی نشان داد که با افزایش شدت تنش به صورت معنی‌داری فتوسنتز خالص کاهش یافت (جدول ۸). پایداری غشاء سلول های برگی تحت تأثیر تمامی سطوح محلول‌پاشی عصاره جلبک آسکوفیلوم به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داشت و بین سطوح ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ درصد حجمی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۷). بیشترین پایداری غشاء سلول در شرایط بدون تنش و کمترین میزان این صفت در تیمار تنش شدید مشاهده شد که در مقایسه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۸).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل محلول‌پاشی عصاره جلبکی و تنش کم‌آبی بر محتوای آب نسبی، کلروفیل a، b و کلروفیل کل معنی‌دار است (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط بدون تنش و تنش

ملایم، کلیه سطوح محلول‌پاشی در مقایسه با سطوح شاهد موجب افزایش معنی‌دار محتوای آب نسبی برگ شد. در شرایط تنش شدید، سطح ۲/۵ درصد حجمی توانست به طور معنی داری نسبت به شاهد محتوای آب نسبی را افزایش دهد (جدول ۹). نتایج مرتبط با کلروفیل a نشان داد که در شرایط بدون تنش و تیمار تنش ملایم، سطوح محلول‌پاشی ۲/۵ و ۳/۵درصد حجمی به صورت معنی‌داری این صفت را نسبت به سطوح شاهد افزایش داد. بیشترین محتوای کلروفیل a در سطح محلول‌پاشی ۲/۵ درصد حجمی در شرایط بدون تنش مشاهده شد که در مقایسه با تمامی سطوح مورد بررسی افزایش معنی-داری داشت. در شرایط تنش شدید، اختلاف معنی‌داری بین سطوح محلول‌پاشی مشاهده نشد (جدول ۹). نتایج نشان داد که محتوای کلروفیل b، در هر سه رژیم رطوبتی (بدون تنش، ملایم و شدید) با محلول‌پاشی ۲/۵ و ۳/۵ درصد حجمی عصاره در مقایسه با تیمارهای شاهد افزایش معنی‌داری داشت (جدول ۹). در بررسی محتوای کلروفیل کل، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط بدون تنش و تنش ملایم، سطوح ۲/۵ و ۳/۵ درصد حجمی منجر به افزایش معنی‌دار این صفت در مقایسه با سطوح شاهد شد. در بررسی بین دو سطوح ۲/۵ و ۳/۵ درصد مشاهده شد که در شرایط بدون تنش اختلاف معنی‌داری بین این دو سطح وجود دارد، اما در شرایط تنش ملایم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در شرایط تنش شدید تفاوت معنی-داری بین سطوح محلول‌پاشی و تیمار شاهد مشاهده نشد (جدول ۹).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که محتوای کاروتنوئید برگی تحت تأثیر اثرات ساده عصاره جلبکی و تنش کم‌آبی قرار داشت، اما اثرات متقابل تیمارها بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که سطح ۲/۵درصد حجمی از عصاره بیشترین میزان محتوای کاروتنوئید برگی را داشت که در مقایسه با سایر سطوح افزایش معنی‌داری داشت. بین سطوح ۱/۵ و ۳/۵ درصد عصاره جلبکی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما در مقایسه با سطح شاهد، محتوای کاروتنوئید برگی را به صورت معنی‌داری افزایش دادند (جدول۷).

در بررسی سطوح تنش کم‌آبی، نتایج نشان داد که تیمارهای تنش ملایم و شدید نسبت به شرایط بدون تنش منجر به کاهش معنی‌دار محتوای کاروتنوئید برگی شدند، اما در مقایسه بین تیمارهای تنش ملایم و شدید، تفاوت معنی داری وجود نداشت (جدول ۸). رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b، کاروتنوئید و مجموع a+b)، محتوای آب نسبی و پایداری غشاء سلول‌های برگ از مهم‌ترین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در گیاهان محسوب می‌شود. به عبارت دیگر گیاهانی که در مواجه با تنش‌های محیطی (نظیر خشکی و شوری) بتوانند کاهش کمتری در این صفات داشته باشند، از گیاهان مقاوم به تنش به‌شمار می‌روند (Flexas & Medrano, 2008; Amiri *et al*., 2017). تغییرات فیزیولوژیک در برگ‌ها و سیستم فتوسنتزی گیاهان در شرایط تنش کمبود آب نیز نقش مهمی در تحمل گیاه به تنش دارد (Piper *et al*., 2007). بدین صورت که در شرایط تنش کم آبی ملایم گیاهان با بستن روزنه‌ها از یک طرف منجر به حفظ آب برگ و جلوگیری از هدررفت آب طی تعرق شده (Flexas & Medrano, 2008)، اما از سوی دیگر موجب کاهش ورود CO_2 به سلول‌های برگی، کاهش فتوسنتز خالص و آسیب به انتقال غیرفعال در آوند چوب (در اثر کاهش تعرق) می‌شود (Hosseinzadeh *et al*., 2016). کاهش ورود CO_2 به سلول-های مزوفیل برگی منجر به افزایش نسبت O_2/CO_2 در محیط اطراف آنزیم روبیسکو شده و این آنزیم بیشتر در مسیر تنفس نوری قرار گرفته و منجر به اتلاف کربن و کاهش آسیمیلاسیون CO_2 می‌گردد (Rahbarian *et al*., 2011; Ahmadpour *et al*., 2016). کاهش فتوسنتز خالص، رنگدانه‌های فتوسنتزی، محتوای آب نسبی و پایداری غشاء سلول‌های برگی در پژوهش‌های مختلف به عنوان مهم‌ترین اثر منفی ناشی از تنش کم‌آبی بیان شده است (Zlatev & Yordanov, 2004; Guerfel *et al*., 2008; Jaleel *et al*., 2008).

عصاره جلبک دریایی با داشتن ترکیباتی نظیر عناصر غذایی کم‌مصرف (Mn ،Cu ،Zn ،Fe) و پرمصرف (N، K، Ca، Mg)، نقش مهمی در تغذیه برگ و فعال‌سازی برخی فرایندهای بیوشیمیایی (به عنوان کوفاکتور برای برخی آنزیم‌ها) دارند (Zhang & Ervin, 2004; Ghannad *et al*., 2017). در یک مطالعه گزارش شد که عناصری نظیر K و Ca نقش مهمی در تنظیم فشار اسمزی سلول‌های نگهبان روزنه دارند و می‌تواند در شرایط تنش کمبود آب در تنظیم عملکرد روزنه و حفظ فتوسنتز خالص نقش داشته باشد (Hosseinzadeh *et al*., 2017). علاوه بر عناصر مغذی در عصاره‌های جلبک دریایی، در مطالعات متعددی گزارش شده است که عصاره جلبک‌های قهوه‌ای (*Phaeophyceae*) غنی از آلجیناز می

باشند که این ترکیبات موجب افزایش ظرفیت نگه‌داری آب شده به طوری که جذب عصاره جلبکی توسط برگ گیاهان موجب افزایش ذخیره آبی در برگ‌ها شده که در شرایط تنش‌های ملایم خشکی می‌تواند از این آب ذخیره‌شده استفاده نماید (Craigie, 2011).

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه نخود تحت تاثیر محلول پاشی عصاره جلبکی و تنش کم آبی

Table 6. Analysis of variance of physiological parameters of chickpea under foliar application of seaweed extract and water deficit stress

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	فتوسنتز خالص Net-photosynthesis	پایداری غشاء سلول Cell membrane stability	محتوای آب نسبی Relative water content	کلروفیل a Chl a	کلروفیل b Chl b	کلروفیل کل TChl	کاروتنوئید Carotenoeid
عصاره جلبک دریایی Seaweed extract (S)	3	13.755**	0.001**	2.694**	3.657**	0.368**	21.534**	0.503**
تنش کم آبی Water deficit stress (W)	2	84.984**	0.007**	16.861**	25.083**	1.347**	224.002**	5.044**
عصاره×تنش (S)× (W)	6	0.377 ns	0.0003 ns	0.194*	0.380*	0.066**	1.648*	0.023 ns
خطای آزمایش Error	24	0.175	0.0001	0.250	0.472	0.007	1.801	0.012
ضریب تغییرات(درصد) CV(%)	-	4	1.53	16.82	12.31	4.47	3.72	3.20

ns، * و **: به ترتیب عدم معنی داری و معنی داری در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

ns, * and **: not-Significant, Significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های پارامترهای فیزیولوژیک گیاه نخود تحت تأثیر عصاره جلبک دریایی

Table 7. Mean comparison of physiological parameters of chickpea under seaweed extract

عصاره جلبک دریایی (درصد حجمی) **Seaweed extract (Volumetric percentage)**	فتوسنتز خالص (میکرو مول در مترمربع در ثانیه) **Net-photosynthesis ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)**	پایداری غشاء سلول **Cell membrane stability**	کاروتنوئید (میلی‌گرم در گرم وزن تر) **Carotenoeid ($mg\ g^{-1}$(FW))**
Control/شاهد	8.67 c	0.396 b	0.913 c
1.5%	10.88 b	0.414 a	1.081 b
2.5%	11.55 a	0.422 a	1.134 a
3.5%	10.64 b	0.412 a	1.050 b

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری باهم ندارند (دانکن ۵ درصد).

The means with simillar letter in each column are not significantly different (Duncan 5%).

جدول ۸- مقایسه میانگین پارامترهای فیزیولوژیک گیاه نخود تحت تأثیر تنش کم آبی

Table 8. Mean comparison of physiological parameters of chickpea under water deficit stress

تنش کم‌آبی **Water deficit stress**	فتوسنتز خالص (میکرو مول در مترمربع در ثانیه) **Net-photosynthesis ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)**	پایداری غشاء سلول **Cell membrane stability**	کاروتنوئید (میلی‌گرم در گرم وزن تر) **Carotenoeid ($mg\ g^{-1}$(FW))**
بدون تنش (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) Non-stress	13.07 a	0.435 a	1.149 a
تنش ملایم (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) Moderate stress	10.49 b	0.411 b	1.022 b
تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) Severe stress	7.74 c	0.387 c	1.090 b

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری باهم ندارند (دانکن ۵ درصد).

The means with simillar letter in each column are not significantly different (Duncan 5%).

جدول ۹- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک نخود تحت تأثیر سطوح مختلف عصاره جلبکی و تنش کم آبی

Table 9. Comparison of physiological traits of chickpea under different levels of seaweed extract and water deficit stress

تیمارها/ عصاره جلبک (درصد حجمی) **Treatments/ Seaweed extract (Volumetric percentage)**	محتوای آب نسبی(درصد) **Relative water content (%)**	کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم وزن تر) **Chl a ($mg\ g^{-1}$(FW))**	کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم وزن تر) **Chl b ($mg\ g^{-1}$(FW))**	کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم وزن تر) **TChl (a+b) ($mg\ g^{-1}$(FW))**
بدون تنش کم آبی (۷۵ درصد ظرفیت زراعی)/ Non water deficit stress (75% field capacity)				
Control/شاهد	0.706 b	6.22 cd	1.490 c	7.71 def
1.5%	0.825 a	7.02 b	1.710 b	8.73 b
2.5%	0.835 a	7.76 a	1.817 a	9.58 a
3.5%	0.821 a	6.91 b	1.713 b	8.62 bc
تنش کم آبی ملایم (۵۰ درصد ظرفیت زراعی)/ Moderate water deficit stress (50% field capacity)				
Control/شاهد	0.657 c	5.98 de	1.233 ef	7.26 fg
1.5%	0.691 b	6.25 cd	1.323 de	7.57 ef
2.5%	0.707 b	6.82 bc	1.380 d	8.20 bcd
3.5%	0.691 b	6.69 bc	1.333 de	8.02 cde
تنش کم آبی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی)/ Severe water deficit stress (25% field capacity)				
Control/شاهد	0.611 e	5.33 f	1.190 f	6.52 h
1.5%	0.633 de	5.45 ef	1.220 ef	6.67 gh
2.5%	0.643 cd	5.69 def	1.335 de	6.95 gh
3.5%	0.631 de	5.29 f	1.320 de	6.53 h

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری باهم ندارند (دانکن ۵ درصد).

The means with simillar letter in each column are not significantly different (Duncan 5%).

در این زمینه مطالعات متعددی گزارش کردند که عصاره جلبک دریایی علاوه بر حفظ رطوبت برگ، با افزایش عناصر مغذی نظیر پتاسیم، کلسیم، منیزیم و عناصر میکرو مانند آهن و منیزیم نقش مهمی در در پایداری رنگدانه‌های فتوسنتزی در برگ و ثبات سیستم فتوسنتزی دارند. این گزارش‌ها نشان داد که محلول‌پاشی این عصاره با افزایش یون منیزیم در حفظ و تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی به خصوص کلروفیل‌ها نقش ایفا می‌کنند (Halmer, 2000; Ghanad *et al*., 2017).

نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از عصاره جلبک دریایی آسکوفیلوم نودوسوم در شرایط تنش کم‌آبی ملایم و شدید در بهبود صفاتی نظیر محتوای آب نسبی، کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل نقش دارد. در بررسی اثرات ساده استفاده از این کود بیولوژیک نیز مشاهده شد که تمامی سطوح کاربردی (۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ درصد حجمی عصاره جلبکی) موجب افزایش معنی‌دار فتوسنتز خالص، پایداری غشاء سلول و محتوای کاروتنوئید شد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از عصاره جلبک دریایی *آسکوفیلوم نودوسوم* در افزایش معنی‌دار کلیه صفات مورفو-فیزیولوژیک گیاه نخود (رقم عادل) نقش دارد، به طوری که نتایج مرتبط با اثرات ساده محلول‌پاشی عصاره بر خصوصیات مورفو-فیزیولوژیک نشان داد که کلیه سطوح محلول‌پاشی (۱/۵درصد، ۲/۵درصد و ۳/۵درصد حجمی) منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد برگ، وزن خشک ریشه، میزان فتوسنتز خالص، پایداری غشاء سلول و محتوای کاروتنوئید در مقایسه با سطح بدون محلول‌پاشی (سطح شاهد) شد. در بررسی تنش مشاهده شد که سطوح تنش کم‌آبی ملایم (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و تنش کم‌آبی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) منجر به کاهش معنی‌دار کلیه صفات مورد بررسی شد. در بررسی اثرات متقابل محلول‌پاشی عصاره جلبکی و تنش کم‌آبی، نتایج نشان داد که در شرایط بدون تنش، سطوح ۲/۵ و ۳/۵ درصد حجمی عصاره جلبکی به صورت معنی‌داری تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف در بوته، وزن خشک اندام هوایی، طول ریشه، محتوای آب نسبی، محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل را در مقایسه با سطح بدون محلول‌پاشی افزایش داد. در شرایط تنش ملایم، کاربرد سطح ۲/۵ درصد حجمی عصاره جلبکی موجب افزایش معنی‌دار تعداد شاخه جانبی (۳۳٪+)، تعداد غلاف در بوته (۲۲٪+)، وزن خشک اندام هوایی (۱۹٪+)، طول ریشه (۱۲٪+)، محتوای آب نسبی (۷٪+)، محتوای کلروفیل a (۱۲٪+)، کلروفیل b (۱۰/۵٪+) و کلروفیل کل (۱۱٪+) در مقایسه با سطح بدون محلول‌پاشی شد. در شرایط تنش شدید، محلول‌پاشی ۲/۵درصد حجمی توانست تعداد شاخه جانبی (۳۰٪+)، تعداد غلاف در بوته (۲۷٪+)، محتوای آب نسبی (۶٪+) و محتوای کلروفیل b (۱۰٪+) را در مقایسه با سطح شاهد بهبود دهد. با توجه به نتایج این مطالعه، استفاده از عصاره جلبک آسکوفیلوم نودوسوم در تمامی سطوح مورد بررسی در شرایط بدون تنش برای گیاه نخود پیشنهاد می‌گردد، اما در شرایط تنش ملایم و شدید سطح ۲/۵ درصد حجمی برای بهبود خصوصیات مورفو-فیزیولوژیک گیاه نخود توصیه می‌شود .

منابع

1. Abrishamchi, P., Ganjeali, A., and Sakeni, H. 2012. Evaluation of morphological traits, proline content and antioxidant enzymes activity in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Iranian Journal of Pulses Research 3(2): 17-30. (In Persian with English Summary).
2. Ahmadpour, R., Hosseinzadeh, S.R., and Chashiani, S. 2016. Study of root morpho-physiological and biochemical characteristics of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in response to moisture stress. Journal of Iranian Plant Echophysiological Research 2(2): 123-135. (In Persian with English Summary).
3. Ahmadpour, R., Salimi, A., Zeidi, H., Armand, N., and Hosseinzadeh, S.R. 2019. Effect of seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) on the stimulation of germination indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Nova Biologica Reperta 6(2): 206-216. (In Persian with English Summary).
4. Alizadeh, M., Armand, N., Rostami, M., and Hosseinzadeh, S. 2020. Effect of water deficit stress on photosynthetic indices of three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. Environmental Stresses in Crop Sciences 13(1): 85-96. (In Persian with English Summary).

5. Amiri, H., Ismaili, A., and Hosseinzadeh, S.R. 2017. Influence of vermicompost fertilizer and water deficit stress on morpho-physiological features of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. karaj). Compost Science and Utilization 26: 1-14.
6. Armand, N., Amiri, H., and Ismaili, A. 2015. Interaction of methanol spray and water deficit stress on photosynthesis and biochemical characteristics of *Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadry. Photochemistry and Photobiology 92(1): 102-110.
7. Bayoumi, T.Y., Eid, M., and Metwali, E.M. 2008. Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. African Journal of Biotechnology 7: 2341-2352.
8. Caffagni, D.E., Camargo, E., Casali, C.A., Lombardi, A.T., and Lima, M.I.S. 2015. Coupling microalgal cultures with hydroponics: Prospection for clean biotechnology processes. Journal of Algal Biomass Utilization 6: 88-94.
9. Craigie, J.S. 2011. Seaweed extract stimuliation in plant science and agriculture. Journal of Apply Phycology 23: 371-393.
10. El-Gawad, A., and Osman, H.S. 2014. Effect of exogenous application of Boric acid and Seaweed extract on growth, biochemical content and yield of eggplant. Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants 6(3): 133-143.
11. Flexas, J., and Medrano, H. 2008. Drought-inhibition of photosynthesis in C3-plants: Stomatal and non-stomatal limitation revisited. Annual of Botany 18: 183-189.
12. Gamze, O., Mehmet Demir, K.A., and Mehmet, A.T. 2005. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). Turkish Journal of Agriculture and Foresty 29: 237-242.
13. Ganjeali, A., Porsa, H., and Bagheri, A. 2011. Assessment of Iranian chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasms for drought tolerance. Agriculture Water Management 98: 1477-1484.
14. Ghannad, R., Akbari, F., and Madadkar Haghjou, M. 2017. Effect of blue-green and green algae Spirulina, Chlorella, Dunaliella and minerals on the stimulation of metabolic and biochemical processes of germination in *Dracocephalum kotschyi* Boiss. Seeds. Nova Biologica Reperta 3(4): 295-307. (In Persian with English Summary).
15. Guerfel, M., Baccouri, O., Boujnah, D., Cha, W., and Zarrouk, M. 2008. Impacts of water stress on gas exchange, water elations, chlorophyll content & leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. Scientia Horticulturae 1: 1-7.
16. Halmer, P. 2000. Commercial Eeed Treatment Technology. In: M. Black and J.D. Bewley (Eds.). Seed Technology and its Biological Basis. Sheffield Academic Press, Sheffield, 257-286.
17. Hosseinzadeh, S.R., Salimi, A., and Ganjeali, A. 2011. Effects of foliar application of methanol on morphological characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Enviromntal Stresses in Crop Science 4: 139-150. (In Persian with English Summary).
18. Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H., and Ismaili, A. 2016. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Photosynthetica 54(1): 87-92.
19. Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H., and Ismaili, A. 2017. Nutrition and biochemical responses of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to vermicompost fertilizer and water deficit stress. Journal of Plant Nutrition 40(16): 2259-2268.
20. Jaleel, C.A., Gopi R., and Panneerselvam, R. 2008. Growth and photosynthetic pigments responses of two varieties of Catharanthus roseus to triadimefon treatment, Comptes. Journal of Rendus Biology 331: 272-277.
21. Jannin, L., Arkoun, M., Etienne, P., Laıne, P., Goux, D., and Garnica, M. 2013. *Brassica napus* growth is promoted by *Ascophyllum nodosum* Seaweed extract: microarray analysis and physiological characterization of N, C, and S metabolisms. Plant Growth Regulation 32: 31-52.
22. Kumar, G., and Sahoo, D. 2011. Effect of seaweed liquid extract on growth and yield of *Triticum aestivum* var. Pusa Gold. Journal of Apply Phycology 23: 251-255.
23. Lichtenthaler, H.K., and Wellburn, A.R. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf in different solvents. Biology and Soceity Transcription 11: 591-592.
24. Panahyan-e-Kivi, M., Ebadi, A., Tobeh, A., and Jamaati-e-Somarin, S.H. 2009. Evaluation of yield and yield components of lentil genotypes under drought stress. Research Journal of Environmental Sciences 3: 456-460. (In Persian with English Summary).

25. Piper, F.I., Corcuera, L.J., Alberdi, M., and Lusk, C. 2007. Differential photosynthetic and survival responses to soil drought in two evergreen Nothofagus species. Annals of Forest Science 64: 447-452.
26. Rahbarian, R., Khavari-nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A.R., and Najafi, F. 2011. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water. Acta Biologica Cracoviensia-Series Botanica 53: 47-56.
27. Ramarajan, S., Joseph, L.H., and Ganthi, A.S. 2012. Effect of seaweed liquid fertilizer on the germination and pigment concentration of soybean. Journal of Crop Science and Technology 1(2): 1-5.
28. Rasti Sani, M., Lahouti, M., and Ganjeali, A. 2014. Effect of drought stress on some morphophysiological traits and chlorophyll fluorescence of red bean seedlings (*Phaseolus vulgaris* L.). Iranian Journal of Pulses Research 5(1): 103-116. (In Persian with English Summary).
29. Saeidi, M., and Abdoli, M. 2015. Effect of drought stress during grain filling on yield and its components, gas exchange variables, and some physiological traits of wheat cultivars. Journal of Agricaltural and Tecnology 17(4): 885-898.
30. Siva, M.A., Da Silva, J.A., and Sharma, S. 2007. Use of physiology parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. Brazilian Journal of Plant Physiology 19: 193-201.
31. Zhang, X.E., and Ervin, H., 2008. Impact of seaweed extract-based cytokinins and zeatin-riboside on creeping bentgrass heat tolerance. Crop Science 48: 364-370.
32. Zhang, X.Z., and Ervin, E.H. 2004. Cytokinin-containing seaweed and humic acid extracts associated with creeping bentgrass leaf cytokinins and drought resistance. Crop Science 44: 1737-1745.
33. Zlatev, Z.S., and Yordanov, I.T. 2004. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. Bulgarestan Journal of Plant Physiology 30: 3-18.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 12, No. 2, December 2021, p. 199-213 (Original Research Article)

Use of seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extract in mitigating the negative effects of water deficit stress in chickpea by evaluating morphophysiological indicators

Ahmadpour[1]*, Raheleh; Salimi[2], Azam; Zeidi[3], Haniyeh; and Armand[4], Nezam

1. MSc. in Biology, Faculty Member of Biology Department, Faculty of Basic Sciences, Khatam Al-Anbia University of Technology, Behbahan, Iran
2. Associate Professor, Faculty Member of Department of Biology, Faculty of Basic Sciences, Kharazmi University of Tehran; salami@yahoo.com
3. MSc. Student in Plant Physiology, Department of Biology, Faculty of Basic Sciences, Kharazmi University of Tehran; zeydi_tmu@yahoo.com
4. Assistant Professor, Faculty Member of Department of Biology, Faculty of Basic Sciences, Khatam Al-Anbia University of Technology, Behbahan; armand@bkatu.ac.ir

Received: 16 October 2020; **Revised:** 9 November 2020
Accepted: 27 June 2021; **Available Online:** 22 December 2021

DOI: 10.22067/ijpr.v12i2.89194

How to cite this article:
Ahmadpour, R., Salimi, A., Zeidi, H., and Armand, N. 2021. Use of seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extract in mitigating the negative effects of water deficit stress in chickpea by evaluating morphophysiological indicators. Iranian Journal of Pulses Research 12(2): 199-213.

Introduction

Seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extract can play an effective role in plant growth and development due to having plenty of nutrients, plant growth regulators and helpful microorganisms can improve soil physicochemical characteristics. Seaweed extract is rich in growth hormones such as auxin, cytokinin, nutrients and widely used elements such as nitrogen, potassium, calcium, magnesium, trace elements such as iron, zinc, copper, manganese and other valuable compounds such as mineral salts, vitamins and Antioxidants have a positive and significant effect on morpho-physiological and functional characteristics of plants. In this regard, several studies have reported that the use of seaweed extract as a foliar application can increase the morphophysiological characteristics of crops. Water deficit stress is one of the most important factors limiting plant yield, the use of remedial treatments to reduce the negative effects of stress is essential and increases the strength and resistance of plants to abiotic stresses. The main purpose of this study was the effect of foliar application of *Ascophilum nodosum* seaweed extract in reducing the negative effects of water deficit stress on chickpea (Adel cultivar).

Materials and Methods

In order to evaluate the effects of seaweed extract on morpho-physiological indices of chickpea (Adel cultivar) under water deficit stress, a factorial experiment based on completely randomized design was conducted in natural environment and with three replications at the Khatam Alanbia University of Behbahan. The experiment treatments consisted of four levels of seaweed extract (0, 1.5, 2.5 and 3.5%) and three levels of water deficit stress: non-stress, moderate stress and severe stress (irrigation at 25, 50 and 75 of field

*** Corresponding Author:** ahmadpour@bkatu.ac.ir

capacity, respectively). In this study, morphological and physiological traits such as plant height, number of leaves per plant, number of lateral branches, number of pods per plant, shoot dry weight, root dry weight, root length, photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids and Total chlorophyll), net photosynthesis, cell membrane stability and relative water content were measured. At the end of the growth period (about 50 days after planting), the aerial part was separated from the plant roots. In order to determine the dry weight of shoots and roots, the samples were dried in an oven at 72 °C for 48 hours and then their weight was determined with the AND scale model GT-300 made in Germany with an accuracy of 0.001 g. Lichtenthaller and Wellburn (1983) method was used to measure chlorophyll and carotenoids. In order to measure the amount of net-photosynthesis, a KR8700 gas exchange-measuring device made by Korea Tech Company was used. Bian and Jiang, (2008) method was used to measure the relative water content of leaves.

Results and Discussion

The results on the simple effects of seaweed extract showed that all foliar application levels led to a significant increase in plant height, leaf number, root dry weight, net-photosynthesis rate, cell membrane stability and carotenoids content compared to the control. Seaweed extract of 2.5 and 3.5% levels led to a significant increase in root dry weight, number of leaves per plant, plant height and cell membrane stability compared to the control. Foliar application of 2.5% compared to other levels resulted in a significant increase in net-photosynthesis and carotenoids. Evaluation of simple effects of water deficit stress showed that severe stress (25% of field capacity) significantly reduced plant height, number of leaves, root dry weight, net photosynthesis, cell membrane stability and carotenoids content compared to non-stress conditions (75% of capacity) and moderate stress (50% of field capacity). The results of interaction of treatments showed that in non-stress conditions, levels of 2.5 and 3.5% of algae extract significantly increased the number of lateral branches, number of pods per plant, shoot dry weight, root length, relative water content, chlorophyll a, b and total chlorophyll content compared to the control. Under moderate stress conditions, application of 2.5% of seaweed extract significantly increased the number of lateral branches (+33%), number of pods per plant (+22%), shoot dry weight (+19%), root length (+12 %), Relative water content (+7%), chlorophyll a (+12%), chlorophyll b (+10.5%) and total chlorophyll (+11%) were compared with the control. Under severe stress conditions, 2.5% foliar application was able to increase the number of lateral branches (+30%), number of pods per plant (+27%), relative water content (+6%) and chlorophyll b content (+10%) in compare with control.

Conclusion

According to the results of this study, the use of *Ascophilum nodosum* seaweed extract in all studied levels is recommended for chickpea in non-stress conditions, but in moderate and severe stress levels, 2.5% is recommended to improve the morpho-physiological characteristics of chickpea.

Keywords: Cell membrane stability، Chlorophyll content، Net-photosynthesis، Water deficit stress